

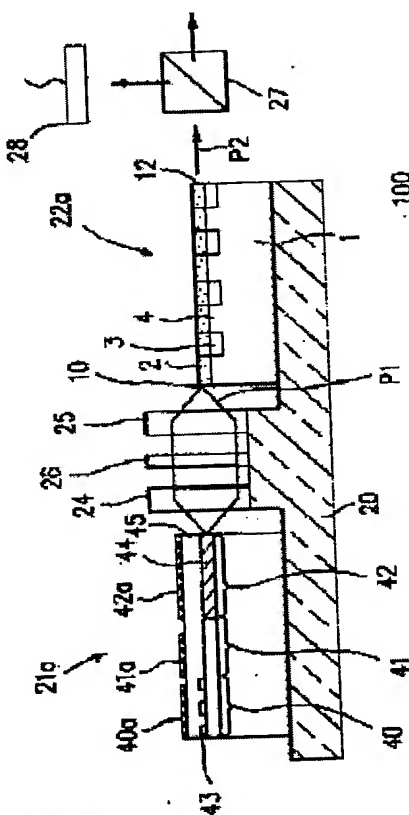
# SHORT WAVELENGTH LASER SOURCE

**Patent number:** JP2003140213  
**Publication date:** 2003-05-14  
**Inventor:** YAMAMOTO KAZUHISA; KITAOKA YASUO; MIZUUCHI KIMINORI; KATO MAKOTO  
**Applicant:** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
**Classification:**  
**- International:** G02F1/377; H01S5/022; H01S5/024; H01S5/125; G02F1/35; H01S5/00; (IPC1-7): G02F1/377; H01S5/022; H01S5/024; H01S5/125  
**- european:**  
**Application number:** JP20020256035 20020830  
**Priority number(s):** JP20020256035 20020830; JP19940220133 19940914; JP19940271282 19941104; JP19940299476 19941202

Report a data error here

## Abstract of JP2003140213

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To stabilize the optical characteristic of a higher harmonic wave converted and to be emitted when a basic wave emitted from a short wavelength laser light source using a semiconductor laser is converted into the higher harmonic wave by making the wave incident on a light wavelength conversion element. **SOLUTION:** A semiconductor laser light P1 is made incident on an optical waveguide 2 of the light wavelength conversion element 22 in which a polarization inversion region 3 and the optical waveguide 2 are formed on a LiTaO<sub>3</sub> substrate and the wavelength is converted to obtain blue light. In this case, the driving current of the DBR part 40 of a DBR semiconductor laser 21a is varied and the oscillation wavelength of the semiconductor laser 21a is made to match with the phase matching wavelength of the light wavelength conversion element 22 and a generated higher harmonic wave P2 is adjusted to be kept constant. Thus, the wavelength of the semiconductor laser is kept constant and the operation is stable even when the ambient temperature varies.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-140213

(P2003-140213A)

(43) 公開日 平成15年5月14日 (2003. 5. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 F 1/377		G 0 2 F 1/377	2 K 0 0 2
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	5 F 0 7 3
5/024		5/024	
5/125		5/125	

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-256035(P2002-256035)  
 (62) 分割の表示 特願平7-233074の分割  
 (22) 出願日 平成7年9月11日(1995. 9. 11)  
 (31) 優先権主張番号 特願平6-220133  
 (32) 優先日 平成6年9月14日(1994. 9. 14)  
 (33) 優先権主張国 日本(J P)  
 (31) 優先権主張番号 特願平6-271282  
 (32) 優先日 平成6年11月4日(1994. 11. 4)  
 (33) 優先権主張国 日本(J P)  
 (31) 優先権主張番号 特願平6-299476  
 (32) 優先日 平成6年12月2日(1994. 12. 2)  
 (33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000005821  
 松下電器産業株式会社  
 大阪府門真市大字門真1006番地  
 (72) 発明者 山本 和久  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72) 発明者 北岡 康夫  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策 (外2名)

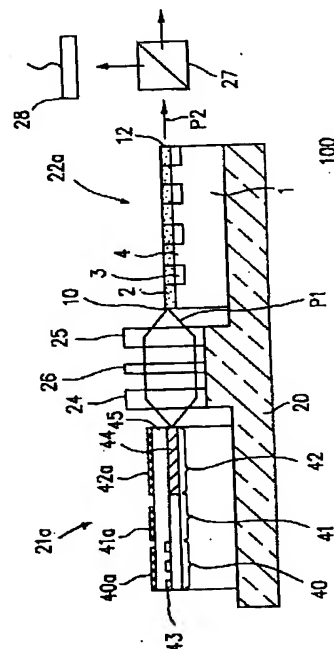
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 短波長レーザ光源

## (57) 【要約】

【課題】 半導体レーザを用いた短波長レーザ光源からの基本波を光波長変換素子に入射して高調波に変換する際に、出射される変換後の高調波の光学特性を安定化する。

【解決手段】  $\text{LiTaO}_3$  基板に分極反転領域3と光導波路2とを形成した光波長変換素子22の光導波路2に半導体レーザ光P1を入射させ、波長変換することで青色光を得る。その際に、DBR半導体レーザ21aのDBR部40の駆動電流を変化させ、半導体レーザ21aの発振波長を光波長変換素子22の位相整合波長に合わせて、発生する高調波P2を一定に制御する。これにより、環境温度が変化しても半導体レーザの波長は一定であり、安定な動作が行える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、分布ブラッグ反射型半導体レーザと、を備えた短波長レーザ光源であって、

ベルチエ素子の第1の面にて該分布ブラッグ反射型半導体レーザの温度が制御され、該ベルチエ素子の第2の面にて該光波長変換素子の温度が制御され、かつ該第1の面と該第2の面とでは温度変化がお互いに逆であることを特徴とする短波長レーザ光源。

【請求項2】 前記ベルチエ素子の第1の面および第2の面の温度を変化させることで、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長と該光波長変換素子の高調波発生波長とを合わせ、それによって一定の高調波出力を取り出す請求項1記載の短波長レーザ光源。

【請求項3】 前記光波長変換素子は、分極反転構造を有している請求項1記載の短波長レーザ光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コヒーレント光を利用する光情報処理分野や光応用計測制御分野にて使用される高調波出力安定化方法、及びそれを利用した短波長レーザ光源に関する。

【0002】

【従来の技術】光情報処理分野では、光記録用短波長レーザ光源は数mW以上の出力が必要である。青色レーザ光源としては、基本波を発生する半導体レーザと基本波の高調波を発生する光波長変換素子との組み合わせが有望である。

【0003】図22は、青色光を発生する従来の短波長レーザ光源5000の構成を示す断面図である。半導体レーザ121から出た基本波P1は、コリメータレンズ124で平行化された後に、フォーカスレンズ125によって、光波長変換素子122の内部に形成された光導波路102に集光される。光導波路102の内部で基本波P1は高調波P2に変換されて、外部に取り出される。なお、短波長レーザ光源5000の各構成要素は、A1でできた基材120の上に搭載されている。また、光波長変換素子122は、その光導波路102が形成されている面を下に向けて石英板123の上に配置されている。

【0004】次に、従来の短波長レーザ光源5000で使用されている光波長変換素子122について、詳しく説明する。

【0005】図23(a)は、従来の光波長変換素子122の斜視図であり、図23(b)は、図23(a)の線23B-23Bにおける断面図である。以下では、光波長変換素子122の動作を、波長873nmの基本波に対する高調波の発生(波長437nm)を例にとって説明する(Kazuhisa Yamamoto an

d Kiminori Mizuuchi, "Blue light generation by frequency doubling of a laser diode in a periodically-domain inverted LiTaO<sub>3</sub> waveguide", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 5, P435-437, 1992年、参照)。

【0006】図23(a)及び(b)に示されるように、光波長変換素子122では、LiTaO<sub>3</sub>基板101に光導波路102が形成され、さらに光導波路102には周期的に分極の反転した層(分極反転領域)103が形成されている。基本波P1と発生する高調波P2との伝搬定数の不整合を、分極反転領域103と非分極反転領域104の周期構造で補償する。これによって、基本波P1は高効率で高調波P2に変換されて、出射される。なお、図23(b)の矢印は、各領域における分極の方向を示している。

【0007】次に、図24(a)及び(b)を用いて、光波長変換素子122における高調波の増幅の原理を説明する。

【0008】図24(a)は、非分極反転素子131及び分極反転素子132の内部構成、すなわち分極の方向を、模式的に示している。なお、図24(a)の矢印は、各領域における分極の方向を示している。

【0009】分極反転していない非分極反転素子131では、分極反転領域は形成されておらず、分極の方向は一方に揃っている。この非分極反転素子131を基本波が進行する際にも、基本波の一部は高調波に変換される。しかし、非分極反転素子131の構成では、光導波路の進行方向に対して、高調波出力131aは図24(b)に示すように増減を繰り返しているだけである。

【0010】これに対して、周期的に分極が反転している1次周期の分極反転波長変換素子132では、高調波出力132aは、図24(b)に示されるように光導波路の長さLの2乗に比例して増大する。ただし、分極反転構造において、入射する基本波P1に対して高調波P2の出力が得られるのは、擬似位相整合が成立するときだけである。擬似位相整合は、分極反転領域の周期Λ1が $\lambda / (2(N2\omega - N\omega))$ に一致するときに限って成立する。ここで、Nωは基本波(波長λ)の実効屈折率、N2ωは高調波(波長λ/2)の実効屈折率である。

【0011】このような、分極反転構造を基本構成要素としている従来の光波長変換素子5000の製造方法について説明する。

【0012】まず、非線形光学結晶であるLiTaO<sub>3</sub>基板101の上に、蒸着とフォトリソグラフィとによって、幅数μmの周期のTa膜のパターンを形成する。次に、温度260℃でTaパターンに対してプロトン交換

3  
処理を行った後に、550℃程度の温度で熱処理を行い、LiTaO<sub>3</sub>基板101に対して分極が反対向きに反転している分極反転領域103を形成する。次に、Ta膜によるスリットを再び形成した後に、温度260℃に設定したピロ磷酸の中で12分間の熱処理を行い、さらにその後に温度420℃で1分間のアニール処理を行う。これによって、光導波路102を形成する。

【0013】上記のようにして作製される光波長変換素子122で、光導波路102の長さを10mmとすれば、波長873nmの基本波P1に対して、基本波P1 10のパワーが37mWであるときに、1.1mWのパワーを有する高調波P2が出射される。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかし、光波長変換素子122の基本波波長に対する許容幅は、一般に0.1nmと狭い。そのために、半導体レーザのモードホップや出射光の波長の広がりやを許容できない。

【0015】例えば、上記のような分極反転領域を基本とした従来の波長変換素子122では、素子長が10mmのときの基本波レーザ光の波長変動に対する許容度は非常に狭く、典型的には半値幅で0.1nm程度しかない。また、温度に対する許容幅も、典型的には3℃と狭い。そのため、光波長変換素子と半導体レーザとを組み合わせた場合に、半導体レーザの出力が温度変化によって影響を受けて、出力光に波長変動が生じると、高調波への変換が行われなくなるか、または変換されて出射される高調波の出力が大きく変動するといった問題がある。

【0016】これらの問題点について、以下に説明する。

【0017】典型的には、半導体レーザの波長が0.05nmずれただけで、得られる高調波出力は、所期の値の半分になる。半導体レーザの波長変化に対する許容度は、このように小さい。例えば、半導体レーザの動作時の周囲温度が20℃から21℃に1℃だけ温度変化すると、半導体レーザの縦モードはひとつずれて、発振波長が820.0nmから820.2nmに変化する。このため、高調波出力はゼロになる。

【0018】一方、光波長変換素子122の温度変化に対する許容幅に関しても、環境温度が変化すると、たとえ半導体レーザの発振波長が安定していても、高調波出力は得られなくなる。また、モードホップがたびたび起こるとノイズの原因となり、光ディスクの読み取り等では問題となる。

【0019】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、環境温度に左右されない、すなわち環境温度が変わっても安定した高調波出力が得られる高調波出力安定化方法、およびそれを利用した短波長レーザ光源を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のある局面によれば、高調波出力安定化方法が、波長可変部を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波を光波長変換素子の中で高調波へと変換する工程と、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの該波長可変部の印加電流を制御して、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を変え、それによって、該高調波のピークに該発振波長を合わせる工程と、を包含しており、それによって上記目的が達成される。

【0021】本発明の他の局面によれば、高調波出力安定化方法が、半導体レーザから出射された基本波を光波長変換素子の中で高調波へと変換する工程と、該半導体レーザに対して光フィードバックを適用して、該半導体レーザの発振波長を所定の値に設定する工程と、該半導体レーザの駆動電流を制御して該発振波長を変え、それによって、該高調波のピーク出力に該発振波長を合わせる工程と、を包含しており、それによって上記目的が達成される。

【0022】本発明のさらに他の局面によれば、高調波出力安定化方法が、第1の波長可変手段および第2の波長可変手段を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波を光波長変換素子で高調波へと変換する工程と、該第1の波長可変手段で該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を粗調整し、該第2の波長可変手段で該発振波長を微調整して、それによって、該高調波のピークに該発振波長を合わせる工程と、を包含しており、そのことによって上記目的が達成される。

【0023】本発明のさらに他の局面によれば、高調波出力安定化方法が、波長可変部を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波を光波長変換素子で高調波へと変換する工程と、該高調波出力を差動検出し、検出結果を用いて該分布ブラッグ反射型半導体レーザの該波長可変部の印加電流を制御して該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を変え、それによって、該高調波のピークに該発振波長を合わせる工程と、を包含しており、そのことによって上記目的が達成される。

【0024】本発明のさらに他の局面によれば、高調波出力安定化方法が、波長ロックされた半導体レーザから出射された基本波を、該半導体レーザの発振縦モード間隔に対して広い許容波長半値幅を有する光波長変換素子の中で高調波へと変換する工程と、該半導体レーザの印加電流を制御して、該半導体レーザの発振波長を変え、それによって、該高調波のピーク出力に該発振波長を合わせる工程と、を包含しており、そのことによって上記目的が達成される。

【0025】ある実施形態では、前記光波長変換素子が光導波路型である。

【0026】他の実施形態では、前記光波長変換素子がバルク型である。

50 【0027】さらに他の実施形態では、基本波出力をモ

(4)

5

ニタして電流を制御する。

【0028】さらに他の実施形態では、縦モード間隔が1nm以上となるように、前記半導体レーザのへき開面とDBR部との間に反射体がさらに設けられている。

【0029】さらに他の実施形態では、前記分布ブラッグ反射型半導体レーザにおいて、前記波長可変部或いは前記第1の波長可変手段が、前記光波長変換素子から遠い側に配置されている。

【0030】さらに他の実施形態では、前記分布ブラッグ反射型半導体レーザ或いは前記半導体レーザ、及び前記光波長変換素子は基材の上にマウントされており、該半導体レーザの活性層及び該光波長変換素子の光導波路が、それぞれ該基材から遠い側に配置されている。

【0031】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、分布ブラッグ反射型半導体レーザと、を備えていて、該分布ブラッグ反射型半導体レーザは波長可変部を有し、該分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子の中で高調波へと変換され、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの該波長可変部の印加電流の制御によって、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を変化させて該高調波のピークに該発振波長を合わせ、それによって一定の高調波出力が取り出され、そのことによって上記目的が達成される。

【0032】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、分布ブラッグ反射型半導体レーザとを備え、該分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子の中で高調波へと変換され、そのことによって上記目的が達成される。

【0033】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、半導体レーザと、を備え、該半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子の中で高調波へと変換され、光フィードバックにより所定の値に設定されている該半導体レーザの発振波長を、該半導体レーザの駆動電流の制御によって変え、それによって、該高調波のピーク出力に該発振波長を合わせることで一定の高調波出力を取り出し、そのことによって上記目的が達成される。

【0034】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、第1の波長可変手段および第2の波長可変手段を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザと、を備え、該分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子で高調波へと変換され、該第1の波長可変手段は該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を粗調整し、該第

2の波長可変手段は該発振波長を微調整して、それによって、該高調波のピークに該発振波長を合わせて、一定の高調波出力を取り出し、そのことによって上記目的が達成される。

【0035】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、第1の波長可変手段を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザと、第2の波長可変手段と非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域とを有する光波長変換素子と、を備え、該分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子で高調波へと変換され、該第1の波長可変手段は該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を粗調整し、該第2の波長可変手段は該光波長変換素子の位相整合波長を微調整して、それによって、該高調波のピークに該発振波長を合わせて、一定の高調波出力を取り出し、それによって上記目的が達成される。

【0036】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、波長ロックされた半導体レーザと、該半導体レーザの発振縦モード間隔に対して広い許容波長半値幅を有する光波長変換素子と、を備え、該半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子の中で高調波へと変換され、該半導体レーザの印加電流を制御して該半導体レーザの発振波長を変えて、該高調波のピーク出力に該発振波長を合わせて一定の高調波出力を取り出し、そのことによって上記目的が達成される。

【0037】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、波長可変部を有する分布ブラッグ反射型半導体レーザと、を備え、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの外部に反射体をさらに有して、該反射体と該分布ブラッグ反射型半導体レーザとの間でレーザ発振が生じ、該分布ブラッグ反射型半導体レーザから出射された基本波が該光波長変換素子の中で高調波へと変換され、該分布ブラッグ反射型半導体レーザの波長可変部の印加電流を制御して該分布ブラッグ反射型半導体レーザの発振波長を変え、発生する該高調波のピークに該発振波長を合わせて、一定の高調波出力を取り出し、そのことによって上記目的が達成される。

【0038】本発明のさらに他の局面によれば、短波長レーザ光源が、非線形光学結晶中に形成された少なくとも3つ以上の周期状分極反転領域を有する光波長変換素子と、半導体レーザと、を備え、該3つ以上の周期状分極反転領域は、周期 $\Lambda$ の第1の周期状分極反転領域と、周期 $\Lambda$ 1の第2の周期状分極反転領域と、周期 $\Lambda$ 2の第3の周期状分極反転領域と、を含み、周期の関係が $\Lambda$ 1 $<\Lambda$  $<\Lambda$ 2であり、周期 $\Lambda$ 1の第2の周期状分極反転領域で発生した高調波と周期 $\Lambda$ 2の第3の周期状分極反転領域で発生した高調波とは、それぞれ異なる検出器で検出され、そのことによって上記目的が達成される。

50

【0039】ある実施形態では、前記光波長変換素子が光導波路型である。好ましくは、前記光導波路がプロトン交換光導波路である。

【0040】他の実施形態では、前記光波長変換素子がバルク型である。

【0041】さらに他の実施形態では、前記非線形光学結晶が $\text{LiNb}_3\text{Ta}_{1-X}\text{O}_3$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) 基板である。

【0042】さらに他の実施形態では、ディテクタおよびビームスプリッタをさらに有する。

【0043】さらに他の実施形態では、基本波出力をモニタして電流を制御する。

【0044】さらに他の実施形態では、縦モード間隔が1nm以上となるように、前記半導体レーザのへき開面とDBR部との間に反射体がさらに設けられている。

【0045】さらに他の実施形態では、前記光波長変換素子の入射面または出射面のいずれかに反射体がさらに設けられている。

【0046】さらに他の実施形態では、前記光波長変換素子における前記基本波の反射戻り光が0.2%以下である。

【0047】さらに他の実施形態例では、前記分布ブラッグ反射型半導体レーザをRF駆動する。

【0048】さらに他の実施形態では、ヘルチエ素子の第1の面に前記半導体レーザの温度を制御し、該ヘルチエ素子の第2の面に前記光波長変換素子の温度を制御し、かつ該第1の面と該第2の面とでは温度変化が互いに逆である。

【0049】さらに他の実施形態では、前記基本波の波長を前記光波長変換素子の位相整合波長からずらすことによって、高調波出力を変調する。

【0050】さらに他の実施形態では、前記基本波の波長を前記光波長変換素子の位相整合波長に合わせた後に、前記半導体レーザの駆動電流を調整して高調波出力を調整する。

【0051】さらに他の実施形態では、前記分布ブラッグ反射型半導体レーザにおいて、前記波長可変部或いは前記第1の波長可変手段が、前記光波長変換素子から遠い側に配置されている。

【0052】さらに他の実施形態では、前記分布ブラッグ反射型半導体レーザ或いは前記半導体レーザ、及び前記光波長変換素子は基材の上にマウントされており、該半導体レーザの活性層及び該光波長変換素子の光導波路が、それぞれ該基材から遠い側に配置されている。

【0053】以下、作用について説明する。

【0054】本発明では、半導体レーザの駆動電流をわずかに変化させることによって発振波長を変え、光波長変換素子(SHG)の位相整合波長に発振波長を合わせることができる。通常は、環境温度が変化すると位相整合波長が変化し、光波長変換素子の擬似位相整合条件が

満足されなくなると高調波出力が得られなくなる。これに対して、本発明によれば、位相整合波長が変化しても、駆動電流を変化させることで半導体レーザの発振波長を変化させ、位相整合波長に合わせることで、常に最高の高調波出力が得られる条件が維持される。

【0055】分布ブラッグ反射型半導体レーザ(以下、「DBR半導体レーザ」と称する)は、活性層に印加する電流を変えても発振波長はほとんど変化しないが、DBR部に電流注入機能を加えてそこに電流を流すと、屈折率が変化して反射波長が変わる。このようにして、発振波長を変化させることができる。つまり、半導体レーザのDBR部への注入電流を変化させることで屈折率が変化し、フィードバックされる発振波長が変わる。これにより、レーザの発振波長を変えることができ、光波長変換素子の擬似位相整合波長に合わせることができる。

【0056】高調波出力をディテクタでモニタし、常に最高値となるように電流を調整することにより、高調波が安定に保たれる。また、最初から擬似的に位相整合する波長からずれていたとしても電流を印加することで擬似位相整合条件にすることができ高調波を高効率に取り出すことができる。さらに、上記のような構成により、本発明によれば、電流印加に対して効率的に屈折率が変化して、高調波出力を変調することが可能となる。すなわち、初期状態で位相整合がとれている場合に、電流印加によって屈折率が大きく変化して、位相整合波長からのずれが生じる。これを利用すれば、印加する電流の変化により、高調波出力のON/OFF制御をすることができる。

【0057】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態)図1は、本発明の第1の実施形態における短波長レーザ光源100の構成を示す断面図である。

【0058】この短波長レーザ光源100では、非線形光学結晶である $\text{LiTaO}_3$ 基板1の表面に周期状の分極反転領域3が形成されている光波長変換素子22aを用いる。さらに、光波長変換素子22aの周期状の分極反転領域3が形成されている表面には、プロトン交換を用いて光導波路2が形成されている。

【0059】また、短波長レーザ光源100は、波長可変部を有するDBR半導体レーザ21aを用いている。DBR半導体レーザ21a及び光波長変換素子22aは、A1でできた基材20の上に固定されている。半導体レーザ21aから出射された基本波P1は、コリメータレンズ24で平行光にされた後、半波長板26を介してフォーカスレンズ25で集光され、光波長変換素子22aの光導波路2に入射面10から入射する。半波長板26は、基本波P1の偏光方向を90度回転させ、光導波路2の偏光方向に一致させるために挿入されている。

【0060】光導波路2に入った基本波P1は、位相整合長Lの長さを持った分極反転領域3で高調波P2に変

換される。さらに、その後に続く同じくLの長さを持った非分極反転領域4で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光導波路2の内部で増幅された高調波P2は、出射面12より放射される。

【0061】高調波が発生する波長（位相整合波長）は、擬位相整合により、非線形光学結晶の屈折率と分極反転領域3の周期とにより決まる。このため、環境温度が変わると屈折率が変わり、位相整合波長が変化する。

【0062】次に、DBR半導体レーザ21aについて 10 説明する。

【0063】DBR半導体レーザ21aは、発光部42、位相制御部41、およびDBR部40に分かれている。各部分42、41及び40は、それぞれ電極42a、41a、40aにより独立に制御できる。発光部42に電極42aを介して電流を注入することで、活性層44が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、半導体レーザ21aの前面のへき開面45とDBR部40に設けられている回折格子43とが起す反射によって共振が生じ、レーザ発振する。

【0064】半導体レーザ21aのDBR部40への注入電流を変化させることで、屈折率が変わるので、フィードバックされる波長が変わる。これを利用すれば、DBR部40を波長可変部として動作させることができ、これにより、レーザの発振波長を変えることができる。

【0065】さらに、位相制御部41に電極41aを介して電流を注入することで、発振波長を連続的に変えることができる。したがって、この位相制御部41も、波長可変部として機能する。

【0066】次に、高調波出力安定化方法について説明する。

【0067】環境温度が変化すると、光波長変換素子22aの位相整合波長が変わる。これに対して、DBR半導体レーザ21aの発振波長を変えることで、光波長変換素子22aの変化後の位相整合波長にレーザ21aの発振波長を合わせることができる。

【0068】このとき、光波長変換素子22aからの高調波出力をビームスプリッタ27で分岐し、その一部をSiディテクタ28でモニタする構成としても良い。このような構成とすれば、ディテクタ28における検出結果を用いて、高調波出力が常に最高値となるように電極40aおよび41aに印加する電流値を調整することができ、高調波P2の出力が安定して所期の値に保たれる。

【0069】高調波出力の制御方法としては、例えば、以下の方法によることができる。まず、電極40a及び41aに注入する電流を+方向にわずかに変化させ、高調波P2の出力を検出する。高調波出力が低下したら、注入電流値を-方向に変化させて、高調波出力を増加さ

せる。高調波出力が所期の値よりも増加したら、注入電流を再び+側に变化させる。これを繰り返すことで、高調波出力を常にピーク値の周辺に保つことができる。

【0070】図2に、半導体レーザ21aにおける電極40aへの印加電流と発振波長との関係を示す。これより、注入電流が約150mAの幅で変化すると、発振波長は約10nm変化する。これより、擬位相整合波長が変化しても、注入電流値の制御によって、半導体レーザの発振波長を広い範囲で変化させて、位相整合波長の変化に追従させることが可能である。

【0071】図3は、環境温度と高調波出力との関係を示すグラフである。これより、温度が0~70℃の範囲において、高調波出力の変動は±3%以内である。

【0072】本実施形態における短波長レーザ光源100では、基本波から高調波への変換効率は、入力パワー40mWに対して5%である。また、動作時間が経過しても、光損傷はなく、例えば500時間の連続動作中の高調波出力の変動は、±3%以内と非常に安定している。

20 【0073】さらに、光波長変換素子22aの入射部10及び出射部12に反射防止のためのコーティングを施せば、基本波に対する反射を防いで、DBR半導体レーザの安定した動作を実現できる。好ましくは、基本波に対する反射率は0.2%以下に設定する。反射率がこれよりも大きいと、動作が不安定になる場合がある。次に、高調波出力の変調について説明する。

30 【0074】上記の短波長レーザ光源100の構成では、DBR部40への印加電流に対して効率的に屈折率が変わる。これによって、半導体レーザ21aの発振波長の変調が可能となる。例えば、初期状態で位相整合がとれている場合に、DBR部40に電流を印加すると、屈折率が大きく変化して、半導体レーザ21aの発振波長が光波長変換素子22aの位相整合波長からずれる。よって、DBR部40への注入電流の変化によって、高調波出力のON/OFF制御を行うことができる。短波長レーザ光源100の構成では、10MHzの変調信号が印加された注入電流を電極40aに印加することによって、高調波出力が対応して変調されることを確認している。

40 （第2の実施形態）図4は、本発明の第2の実施形態における短波長レーザ光源200の構成を示す断面図である。

【0075】この短波長レーザ光源200では、-Z板（Z軸に垂直に切り出された基板の側）のLiTaO<sub>3</sub>基板1の表面に周期状の分極反転領域3が形成されている光波長変換素子22bを用いる。さらに、光波長変換素子22bの周期状の分極反転領域3が形成されている表面には、プロトン交換を用いて光導波路2が形成されている。LiTaO<sub>3</sub>は、光導波路2や分極反転領域3の形成が容易であって、使い易い材料である。



【0076】また、短波長レーザ光源200は、波長可変部を有するDBR半導体レーザ21bを用いている。DBR半導体レーザ21b及び光波長変換素子22bは、A1でできた基材20の上に固定されている。半導体レーザ21aから出射された基本波P1は、コリメータレンズ24で平行光にされた後、半波長板26を介してフォーカスレンズ25で集光され、光波長変換素子22bの光導波路2に入射面10から入射する。半波長板26は、基本波P1の偏光方向を90度回転させ、光導波路2の偏光方向に一致させるために挿入されている。

【0077】光導波路2に入った基本波P1は、位相整合長Lの長さを持った分極反転領域3で高調波P2に変換される。さらに、その後に続く同じくLの長さを持った非分極反転領域4で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光導波路2の内部で増幅された高調波P2は、出射面12より放射される。

【0078】次に、DBR半導体レーザ21bについて説明する。

【0079】DBR半導体レーザ21bは、発光部42およびDBR部40に分かれている。発光部42に電極42aを介して電流を注入することで、活性層44が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、半導体レーザ21bの前面のへき開面45とDBR部40に設けられている回折格子43とが起す反射によって共振が生じ、レーザ発振する。電極42aに一定の電流を注入することで、発振する基本波P1のパワーは一定となる。

【0080】次に、短波長レーザ光源200の安定動作について説明する。

【0081】図4に示す短波長レーザ光源200では、光波長変換素子22bの光導波路2の上に、薄膜ヒータ15が形成されている。LiTaO<sub>3</sub>は温度変化により屈折率が変わり位相整合波長が変化するが、薄膜ヒータ15の設置により、光波長変換素子22bの表面温度は一定温度になっている。一方、DBR半導体レーザ21bは、基材20の反対側の表面に設けられたペルチェ素子48により、一定温度、例えば20℃に保たれている。

【0082】DBR半導体レーザ21bの発振波長は、通常ファブリーペロー型に比べて安定である。その理由は、発振波長がDBR部40の回折格子43の周期とその部分の実効屈折率とにより決まり、電極42aを介して活性層44に注入される電流を変えても、発振波長に対する影響がほとんどないからである。そのため、温度を一定に保てば、発振波長は変化しない。長期的には、屈折率の変化にともなうわずかな波長変動が生じ得るが、このような変化量は微弱であり、半導体レーザ21bの駆動電流をわずかに変化させることで対応できる。また、発振波長の大きな変化は、光波長変換素子の薄膜ヒータの温度を変えて安定化できる。

【0083】次に、この光波長変換素子の製造方法を、図5(a)～(d)を参照して説明する。

【0084】まず、図5(a)に示すように、LiTaO<sub>3</sub>基板1に、通常のプロセスとドライエッチングとを用いてTa膜6aを周期状の所定のパターンに形成する。次に、所定のパターンのTa膜6aが形成されたLiTaO<sub>3</sub>基板1に、ピロ磷酸中で温度260℃にて30分間のプロトン交換処理を行い、Ta膜6aで覆われていない箇所の基板1の表面に、厚さ0.8μmのプロトン交換層を形成する。その後、温度550℃で1分間の熱処理を行う。これにより、図5(b)に示すような周期状の分極反転領域3が形成される。Ta膜6aで覆われていた部分は、非分極反転領域4に相当する。

【0085】次に、先に形成したTa膜6aを除去して、光導波路を形成する工程で使用するプロトン交換用の保護マスクとして、新たに厚さ30nmのTa膜をストライプ状のパターンで基板1の表面に形成する。その後、温度260℃で16分間のプロトン交換処理を行う。その後、温度380℃で10分間のアニールを行い、図5(c)に示すような光導波路2を形成する。その後、Ta膜は除去する。

【0086】さらに、図5(d)に示すように、SiO<sub>2</sub>層14を保護膜として形成し、さらにそのSiO<sub>2</sub>膜14の上に、Ti膜を形成する。Ti膜の厚さは、典型的には約200nmである。次に、フォトリソグラフィとドライエッチングとを用いて、Ti膜を所定の形状にパターンニングして、薄膜ヒータ15とする。

【0087】最後に、研磨により、基板1の側端面に入射面を形成する。

【0088】以上のプロセスによって形成される光導波路2は、典型的には、幅が約4μmで長さは約1cmである。また、分極反転領域3の周期は約3.8μmで、分極反転領域3の厚みは約2.0μmである。なお、図5(a)～(d)の中の矢印は、各領域における分極の方向を示している。

【0089】薄膜ヒータ15を備える光波長変換素子200は、擬似位相整合波長の変化による動作特性への影響はほとんどなく、広い環境温度範囲で使用可能である。基本波P1から高調波P2への変換効率、波長858nmで40mWの入力に対して2.5%である。また、光損傷もなく、非常に安定した高調波出力が得られる。

【0090】さらに、また、高調波の光導波路2からの出射にあたっては、非点収差の無いスポットを簡単に且つ安定して得ることができる。

(第3の実施形態)図6は、本発明の第3の実施形態における短波長レーザ光源300の構成を示す断面図である。

【0091】短波長レーザ光源300は、基本的に、S



i サブマウント20aの上に固定されたファブリーペロ型半導体レーザ21c及び光波長変換素子22cより構成される。

【0092】半導体レーザ21cから出射された基本波P1は、光波長変換素子22cの光導波路2に直接導入され、光導波路2を伝搬する間に高調波P2へ変換される。ここで、光波長変換素子22cの構成は、第1の実施形態における光波長変換素子22aと同様の分極反転型である。

【0093】本実施形態の光波長変換素子22cでは、MgOをドーブしたLiNbO<sub>3</sub>基板1aに対して温度1120℃で熱処理を施して、分極反転領域3を形成する。さらに、光導波路2として、分極反転領域3の形成時の熱処理温度に比べて低温での処理によって形成することができるプロトン交換光導波路を用いる。光導波路2の上には、薄膜ヒータ15が形成されている。以上の構成を有する光波長変換素子22cは、薄膜ヒータ15がSiサブマウント20aに対向するような向きで、Siサブマウント20aの上に配置されている。

【0094】半導体レーザ21cから出射された基本波P1は、光波長変換素子22cに入射後に、回折格子17で反射されて波長がロックされる。一方、半導体レーザ21cの出射面（光波長変換素子22cに対向している端面）とは逆側の端面からも基本波の一部P1aが出力されるが、その量はSiディテクタ28により検出される。検出量に基づくフィードバック制御によって、光波長変換素子22cに供給される基本波P1の出力が最大になるように半導体レーザ21cの駆動電流を制御すれば、結果的に高調波P2の出力を一定に保つことができる。

【0095】図7は、半導体レーザ21cの駆動電流と出射される基本波のパワーとの関係を示すグラフである。

【0096】光フィードバックがかかっている状態では、半導体レーザ21cの発振波長は、フィードバック波長に近接したモード（半導体レーザ21cの長さと同屈折率で決定される）の中で波長が近い方に固定される。しかし、温度や駆動電流が変化すると、固定されるモードは入れ替わる。例えば、駆動電流が変化すると、半導体レーザ21cの出力は、モードホップを生じる電流値に駆動電流値が一致したときに最小となり、一方、フィードバックされるピーク波長と一致した発振波長を与える電流値に駆動電流値が一致したときに、最高値となる。そのため、駆動電流値が増加すると、図7に示すように周期的な出力の増減が認められる。

【0097】図6に示す短波長レーザ光源300の構成で、半導体レーザ21cから光波長変換素子22cとは反対側に出射される基本波P1aの量は、光波長変換素子22cに入射される基本波P1の量と相関がある。したがって、基本波出力P1aをディテクタ28で検出し

て、その検出結果をフィードバックして駆動電流を変化させることで、温度が変化しても、基本波の出力がピーク状態にあるように、すなわちモードの安定状態が保たれるように安定化のための制御を行うことができる。このような安定化制御を行えば、80mWの基本波入力に対する高調波への変換効率は4%であり、±30℃程度の温度範囲にわたって、非常に安定した出力が得られる。

【0098】以上のように、本実施形態の短波長レーザ光源300では、半導体レーザ21cの発振波長は安定化されており、また環境温度が変わっても、光波長変換素子22cの光導波路2の温度は薄膜ヒータ15により一定に保たれる。これによって、常に最大の高調波出力（3mW）が保たれる。相対雑音強度ノイズは、-140dB/Hzと極めて低く、実用的な値である。また、基本波がモードホップするとノイズが大きくなって光ディスクの読み取りが困難になるが、本実施形態によれば、モードホップの発生が防止されて、短波長レーザ装置の実用性が向上する。

【0099】なお、ディテクタ28による基本波出力のモニタは、光導波路2から出射された後の基本波に対して行っても良い。

【0100】このように、半導体レーザ21cの駆動電流を変えることにより、その発振波長を調節して安定化を図ることができる。以上の説明のように、光フィードバックによって発振波長のロックを実現すると、基本波が周期的に増減してピーク検出が容易になる。光フィードバックの方法は、上記で説明したDBR以外のものであってもよく、例えば、外部回折格子の利用、共焦点光学系での反射の利用などを適用することができる。

（第4の実施形態）次に、本発明の第4の実施形態における短波長レーザ光源を、以下に説明する。

【0101】本実施形態における短波長レーザ光源は、第1の実施形態で図1を参照して説明した短波長レーザ光源100と同様の構成を有する。ただし、制御方法が、第1の実施形態におけるものとは異なっており、微調整制御及び粗調整制御を併用している。

【0102】この短波長レーザ光源100では、非線形光学結晶であるLiTaO<sub>3</sub>基板1の表面に周期状の分極反転領域3が形成されている光波長変換素子22aを用いる。さらに、光波長変換素子22aの周期状の分極反転領域3が形成されている表面には、プロトン交換を用いて光導波路2が形成されている。

【0103】また、短波長レーザ光源100は、波長可変部を有するDBR半導体レーザ21aを用いている。DBR半導体レーザ21a及び光波長変換素子22aは、A1でできた基材20の上に固定されている。半導体レーザ21aから出射された基本波P1は、コリメータレンズ24で平行光にされた後、半波長板26を介してフォーカスレンズ25で集光され、光波長変換素子2

2aの光導波路2に入射面10から入射する。半波長板26は、基本波P1の偏光方向を90度回転させ、光導波路2の偏光方向に一致させるために挿入されている。

【0104】光導波路2に入った基本波P1は、位相整合長Lの長さを持った分極反転領域3で高調波P2に変換される。さらに、その後が続く同じくLの長さを持った非分極反転領域4で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光導波路2の内部で増幅された高調波P2は、出射面12より放射される。

【0105】高調波が発生する波長(位相整合波長)は、擬似位相整合により、非線形光学結晶の屈折率と分極反転領域3の周期とにより決まる。このため、環境温度が変わると屈折率が変わり、位相整合波長が変化する。

【0106】次に、DBR半導体レーザ21aについて説明する。

【0107】DBR半導体レーザ21aは、発光部42、位相制御部41、およびDBR部40に分かれている。各部分42、41及び40は、それぞれ電極42a、41a、40aにより独立に制御できる。発光部42に電極42aを介して電流を注入することで、活性層44が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、半導体レーザ21aの前面のへき開面45とDBR部40に設けられている回折格子43とが起こす反射によって共振が生じ、レーザ発振する。

【0108】半導体レーザ21aのDBR部40への注入電流を変化させることで、屈折率が変わるので、フィードバックされる波長が変わる。これを利用して、DBR部40を第1の波長可変部として動作させることができ、これにより、レーザの発振波長を変えることができる。

【0109】さらにその後、位相制御部41に電極41aを介して電流を注入することで、発振波長を連続的に変えることができる。したがって、この位相制御部41を、第2の波長可変部として機能させることができる。

【0110】特に、本実施形態では、DBR部40による制御を粗調整制御とし、位相制御部41による制御を微調整制御とする。本実施形態におけるこの高調波出力安定化方法を、短波長レーザ光源100の立ち上げ時を例にとって、図8に示されるフローチャートを参照して説明する。

【0111】電源を入れた時点では発振波長と位相整合波長とがずれていて、高調波が発生しないとする。高調波出力は、ビームスプリッタ27で分岐して、その一部をSiディテクタ28でモニタしている。

【0112】まず最初に、ステップ810で、DBR部40の駆動電流を変化させる。図9に示す駆動電流値と発振波長とのグラフからわかるように、DBR部40の電極40aに流す駆動電流が変化すると、発振波長は、

一部でモードホップしながら変化する。発振波長が位相整合波長に接近すると、高調波P2が発生する。この高調波の発生を検知したら(ステップ820)、DBR部40への電流を固定する(ステップ830)。

【0113】次に、ステップ840で、位相制御部41の電極41aに流す電流を変化させる。位相制御部41への電流が変化する場合、DBR部40の電流の変化に比べて、モードホップなしに発振波長が変化する範囲が広い。そのため、発振周波数を、高調波の出力がピークになるような波長に、容易に合わせることができる。このようにして、高調波の出力が最大になったかどうかを検知して(ステップ850)、出力が最大になったら位相制御部41に流す電流を固定する(ステップ860)。

【0114】以上の操作によって、最大高調波出力が得られる発振波長への設定が行われる。

【0115】環境温度が変化すると、光波長変換素子22aの位相整合波長が変わる。これに対して、DBR半導体レーザ21aの発振波長を変えて、光波長変換素子22aの変化した擬似位相整合波長に発振波長を合わせることができる。

【0116】すなわち、上記で説明したものと同様の過程により、高調波出力が常に最高値となるように電極40a及び41aへの印加電流を調整して、高調波P2を安定に保つことができる。また、光波長変換素子の擬似位相整合波長の変化に対しては、半導体レーザの発振波長を広い範囲で変化させて、位相整合波長の変化に発振波長を追従させることができる。

【0117】本実施形態によれば、温度0~70℃の範囲において、高調波出力の変動を±2%以内に抑えることができる。また、基本波から高調波への変換効率率は、40mWの入力に対して5%である。また、図8のフローチャートに示すような制御を行っても、半導体レーザの立ち上がり時間は0.1秒以内と短時間である。さらに、500時間にわたる長期の連続動作中の経時変化についても、光損傷はなく、高調波出力の変動は±2%以内と非常に安定している。

【0118】このような安定した動作は、発振波長に対する粗調整制御と微調整制御とを組み合わせることで達成される。すなわち、発振波長の変化における若干のモードホップは生じるものの広い範囲で発振波長を可変できるDBR部40への電流印加を粗調整制御に使用し、一方、モードホップは発生しないが発振波長の可変範囲が狭い位相制御部41への電流印加を微調整制御に使用することによって、高速で広範囲な発振波長の制御が可能である。

【0119】なお、図8を参照して説明した上記の一連の制御において、微調整制御にペルチェ素子による温度変化を利用することができる。この場合の制御フローチャートを、図10に示す。具体的には、図8に示す位相

制御部への電流の制御（ステップ 840 及び 860）の代わりに、ヘルチエ素子に流す電流を制御して温度変化を生じさせる（ステップ 845 及び 865）。これによって、DBR 部 40 への電流の制御と組み合わせ、発振波長の制御を行う。なお、図 10 の他のステップは図 8 と同様であるので、ここではその説明は省略する。

【0120】図 10 に示すヘルチエ素子を使用する制御方法においても、高調波出力の変動を 2% 以内におさめることができる。また、この場合には半導体レーザに位相制御部 41 を形成する必要がないので、歩留まり良く半導体レーザを形成することができるという効果もある。

【0121】なお、薄膜ヒータを形成してヒータへの通電電流を制御することによって、微調整制御を行うこともできる。特に、ヒータを DBR 半導体レーザの上に集積して形成すれば、半導体レーザあるいは短波長レーザ光源を小型化することができる。

【0122】粗調整制御の方法としては、広い範囲にわたって発振波長が可変できるものであれば、特定のものに限られることはない。また、薄膜ヒータを光波長変換素子の上に形成して、それへの通電電流を使用して微調整制御をすることもできる。すなわち、光波長変換素子に第 2 の波長可変手段を設けても、発振波長の連続的な微調整を行うことができる。

（第 5 の実施形態）次に、本発明の第 5 の実施形態による短波長レーザ光源を図 11 を参照して説明する。

【0123】本実施形態でも、短波長レーザ光源に含まれる光波長変換素子 22 d として、LiTaO<sub>3</sub> 基板 1 の中に分極反転領域 3 を形成して、さらにプロトン交換を用いて光導波路 2 を形成した光導波路型の光波長変換素子 22 d を使用する。入射面 10 から入射された基本波 P1 は、光導波路 2 を伝搬する間に高調波 P2 に変換されて、出射面 12 から出射される。

【0124】この出射される高調波 P2 の出力を安定させるための制御方法として、光波長変換素子 22 d では差動検出方法を用いる。そのために、光波長変換素子 22 d では、通常の波長変換を行う第 1 の分極反転領域 3 に加えて、それより入射面 10 に近い箇所に、周期の短い（周期  $\Lambda 1$ ）第 2 の周期状の分極反転領域 3 a、及び周期の長い（ $\Lambda 2$ ）第 3 の周期状の分極反転領域 3 b が形成されている。すなわち、周期が異なる 3 種類の分極反転領域 3 a、3 b 及び 3 が設けられている。周期の関係は、 $\Lambda 1 < \Lambda < \Lambda 2$  である。

【0125】さらに、分極反転領域 3 a 及び 3 b の上には、お互いに異なる周期を有する回折格子 17 a、17 b がそれぞれ形成されている。この回折格子 17 a、17 b は、入射面 10 から入射した基本波 P1 は通過させる。しかし、第 2 及び第 3 の分極反転領域 3 a 及び 3 b によってそれぞれ基本波から変換された高調波 P2 a 及び P2 b は、基板 1 の内部へ向けて回折させる。さら

に、基板 1 の反対側の表面にはディテクタ 28 a 及び 28 b が設けられていて、そのようにして回折された高調波 P2 a 及び P2 b がそれぞれ入射するように配置されている。

【0126】図 11 には図示していないが、半導体レーザとしては、波長可変機能を有する DBR 半導体レーザを用いている。半導体レーザから出射された基本波 P1 は、光波長変換素子 22 d の光導波路 2 に入射する。光導波路 2 に入った基本波 P1 は、周期状の分極反転領域 3 a、3 b 及び 3 でそれぞれ高調波 P2 a、P2 b 及び P2 に変換される。

【0127】図 12 は、入力される基本波の波長と発生する高調波出力との関係を示すグラフである。第 2 の分極反転領域 3 a が周期状に形成されている領域の長さは 1 mm であり、この部分の位相整合波長（ピーク波長）は 861 nm、波長半値幅は 1 nm である。また、第 3 の分極反転領域 3 b が周期状に形成されている部分の長さは 1 mm であり、この部分の位相整合波長は 862 nm、波長半値幅は 1 nm である。また、第 1 の分極反転領域 3 が周期状に形成されている部分の長さは 9 mm であり、この部分の位相整合波長は 861.5 nm、波長半値幅は 0.1 nm である。

【0128】半導体レーザの発振波長が光波長反転素子の位相整合波長に一致していれば、第 1 の分極反転領域 3 が反応して高調波 P2 が発生し、出射面 12 から出射される。しかし、発振波長が短いと、第 2 の周期状分極反転領域 3 a が反応して高調波 P2 a が発生する。あるいは、発振波長が長すぎると、第 3 の周期状分極反転領域 3 b が反応して高調波 P2 b が発生する。それぞれの部分で発生した高調波 P2 a 及び P2 b は、回折格子 17 a 及び 17 b で回折されてディテクタ 28 a 及び 28 b に入射し、そこで電気信号に変換される。

【0129】DBR 半導体レーザの波長を変えた場合のディテクタ 28 a 及び 28 b の出力電気信号（出力電流値）を、図 13 (a) に示す。ここで、ディテクタ 28 a の信号を I、ディテクタ 28 b の信号を I' とすれば、その差動出力は  $I - I'$  となる。

【0130】図 13 (b) には、半導体レーザの発振波長を印加電流で制御する場合の、差動出力  $I - I'$  を示す。実際の制御にあたっては、差動出力  $I - I'$  の変動が  $\pm 2\%$  の範囲に納まるように、印加電流によって発振波長を制御する。これにより、高調波出力の値を、常にピーク値の周辺に保つことができる。具体的には、温度が 5 ~ 70 °C の範囲で変動すると、例えば  $\pm 1\%$  以内の出力の変動が発生する。

【0131】このように、差動検出を用いると高調波出力を簡単且つ十分に安定させることができる。基本波 P1 から高調波 P2 への変換効率は、入力パワーが 60 mW の場合に 5% である。実際の高調波出力を得るための第 1 の周期状分極反転領域 3 と差動検出に使う第 2 及び

第3の周期状分極反転領域3a及び3bは、同一の基板1の上に同一マスクを用いて同一プロセスで作製できる。そのため、それぞれ分極反転領域3、3a及び3bの位相整合波長の関係は一定であり、差動検出により発振波長が高周波出力のピークに容易に固定される。

【0132】上記の説明では、半導体レーザの発振波長を変化させているが、温度や電界などに関する条件を制御して、光波長変換素子の位相整合波長を変化させても、同様の効果を得ることができる。

(第6の実施形態)次に、本発明の第6の実施形態の短波長レーザ光源を説明する。図14は、本実施例の短波長レーザ光源に用いられる光波長変換素子22eの構成を示す平面図である。

【0133】本実施形態でも、短波長レーザ光源に含まれる光波長変換素子22eとして、LiTaO<sub>3</sub>基板1の中に分極反転領域3を形成して、さらにプロトン交換を用いて光導波路2を形成した光導波路型の光波長変換素子22eを使用する。入射面10から入射された基本波P1は、光導波路2を伝搬する間に高調波P2に変換されて、出射面12から出射される。

【0134】この出射される高調波P2の出力を安定させるための制御方法としては、やはり差動検出方法を用いる。そのために、光波長変換素子22eでは、通常の波長変換を行う第1の分極反転領域3に加えて、それより入射面10に近い箇所に、周期の短い(周期 $\Lambda$ 1)第2の周期状分極反転領域3a、及び周期の長い( $\Lambda$ 2)第3の周期状分極反転領域3bが形成されている。すなわち、周期が異なる3種類の分極反転領域3a、3b及び3が設けられている。周期の関係は、 $\Lambda$ 1< $\Lambda$ < $\Lambda$ 2である。

【0135】さらに、第2及び第3の分極反転領域3a及び3bの上には、分岐光導波路2a及び2bが形成されている。基本波P1は、方向性結合器50によって分岐光導波路2a及び2bに結合されている。分岐光導波路2a及び2bを通して伝搬する基本波P1に基づいて発生する高調波P2a及びP2bは、基板1の外に出力される。さらに、基板1の側面にはディテクタ28a及び28bが設けられていて、そのようにして回折された高調波P2a及びP2bがそれぞれ入射するように配置されている。

【0136】図14には図示していないが、半導体レーザとしては、波長可変機能を有するDBR半導体レーザを用いている。半導体レーザから出射された基本波P1は、光波長変換素子22eの光導波路2に入射する。光導波路2に入った基本波P1は、周期状分極反転領域3で高調波P2に変換される。変換された高調波P2は、そのまま光導波路2を伝搬して、出射面12から外部に出射される。

【0137】一方、変換されずに残った基本波P1は、方向性結合器50によって分岐光導波路2a及び2bに

結合される。分岐光導波路2a及び2bを通して伝搬する基本波P1は、それぞれの光導波路2a及び2bの先端に設けられた第2及び第3の分極反転領域3a及び3bによって高調波P2a及びP2bに変換される。

【0138】第2の周期状分極反転領域3a(周期 $\Lambda$ 1)が形成されている領域の長さは1mmであり、この部分の位相整合波長は861nm、波長半値幅は1nmである。また、第3の周期状分極反転領域3b(周期 $\Lambda$ 2)が形成されている部分の長さは1mmであり、この部分の位相整合波長は862nm、波長半値幅は1nmである。また、第1の周期状分極反転領域3が形成されている部分の長さは9mmであり、位相整合波長は861.5nm、波長半値幅は0.1nmである。

【0139】先の実施例に関連して述べたように、半導体レーザの発振波長が光波長変換素子の位相整合波長に一致していれば、第1の分極反転領域3が反応して高調波P2が発生し、出射面12から出射される。しかし、発振波長が短いと、第2の周期状分極反転領域3aが反応して高調波P2aが発生する。あるいは、発振波長が長すぎると、第3の周期状分極反転領域3bが反応して高調波P2bが発生する。それぞれの部分で発生した高調波P2a及びP2bは、ディテクタ28a及び28bに入射し、そこで電気信号に変換される。このようにしてディテクタ28a及び28bで検出される信号から、先の実施例と同様の原理に基づいて差動信号を得る。そして、差動信号の変動が $\pm 2\%$ の範囲におさまるように、印加電流によって発振波長を制御することにより、高調波出力の値を常にピーク値の周辺に保つことができる。具体的には、温度が5~70℃の範囲で変動すると、例えば $\pm 1\%$ 以内の出力の変動が発生する。

【0140】基本波P1から高調波P2への変換効率率は、入力パワーが60mWの場合に7%である。なお、本実施形態のように出射面12の側に差動検出用の周期状分極反転領域3a及び3bを形成すれば、すでに高調波への変換が終了した「使用済」の基本波を利用することができるので、変換効率に影響が及ぼされることがないという効果も有する。

【0141】上記の説明では、半導体レーザの発振波長を変化させているが、温度や電界などに関する条件を制御して、光波長変換素子の位相整合波長を変化させても、同様の効果を得ることができる。

(第7の実施形態)次に、本発明の第7の実施形態の短波長レーザ光源を説明する。図15は、本実施例の短波長レーザ光源700の構成を示す断面図である。

【0142】この短波長レーザ光源700では、非線形光学結晶であるLiTaO<sub>3</sub>基板1の内部に周期状分極反転領域3が形成されている光波長変換素子22fを用いる。さらに、本実施形態における光波長変換素子22fは、これまでの実施形態の光波長変換素子のように周期状分極反転領域が形成されている表面に光導波路

を形成して使用するのではなく、全体をバルクとして使用するバルク型の素子である。なお、周期状の分極反転領域 3 の形成は、例えば電界印加法によって行うことができるが、他の方法を適用してもよい。

【0143】また、短波長レーザ光源 700 は、波長可変部を有する DBR 半導体レーザ 21 f を用いている。DBR 半導体レーザ 21 f 及び光波長変換素子 22 f は、A1 でできた基材 20 の上に固定されている。半導体レーザ 21 f から出射された基本波 P1 は、レンズ 24 a で平行光にされた後、光波長変換素子 22 f に入射面 10 から入射する。

【0144】光波長変換素子 22 f に入った基本波 P1 は、位相整合長 L の長さを持った分極反転領域 3 で高調波 P2 に変換される。さらに、その後に続く同じく L の長さを持った非分極反転領域 4 で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光波長変換素子 22 f の内部で増幅された高調波 P2 は、出射面 12 より放射される。

【0145】高調波が発生する波長（位相整合波長）は、擬似位相整合により、非線形光学結晶の屈折率と分極反転領域 3 の周期とにより決まる。このため、環境温度が変わると屈折率が変わり、位相整合波長が変化する。

【0146】次に、DBR 半導体レーザ 21 f について説明する。

【0147】DBR 半導体レーザ 21 f は、発光部 42 及び DBR 部 40 に分かれている。各部分 42 及び 40 は、それぞれ電極 42 a 及び 40 a により独立に制御できる。発光部 42 に電極 42 a を介して電流を注入することで、活性層 44 が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、半導体レーザ 21 f の前面のへき開面 45 と DBR 部 40 に設けられている回折格子 43 とが起こす反射によって共振が生じ、レーザ発振する。

【0148】半導体レーザ 21 f の DBR 部 40 への注入電流を変化させることで、屈折率に変化するの、フィードバックされる波長が変わる。これを利用すれば、DBR 部 40 を波長可変部として動作させることができ、これにより、レーザの発振波長を変えることができる。

【0149】次に、高調波出力安定化方法について説明する。

【0150】短波長レーザ光源 700 は、全体がペルチェ素子 48 の上にマウントされていて、環境温度の変化にかかわらずその温度が常に一定に保たれるようになっている。しかし、長時間に渡って短波長レーザ光源 700 を使用すると、経時変化等により光波長変換素子 22 f の擬似位相整合波長または半導体レーザ 21 f の発振波長が変化して、擬似位相整合波長と発振波長との間にずれが生じるようになる。これに対して、DBR 半導体レーザ 21 f の発振波長を変えることで、光波長変換

素子 22 f の変化後の位相整合波長に、半導体レーザ 21 f の発振波長を合わせることができる。

【0151】このとき、光波長変換素子 22 f からの高調波出力 P2 をビームスプリッタ 27 で分岐し、その一部を Si ディテクタ 28 でモニタする構成としても良い。このような構成とすれば、ディテクタ 28 における検出結果を用いて、高調波出力が常に最高値となるように電極 40 a に印加する電流値を調整することができ、高調波 P2 の出力が安定して所期の値に保たれる。

【0152】なお、ディテクタ 28 は、図 15 に示されるように、出射面 12 から得られる高調波出力 P2 を検出する構成に限られるものではない。例えば、光波長変換素子 22 f の内部で変換された高調波の一部は、素子 22 f の入射面 10 から外部に放出される。そこで、半導体レーザ 21 a と光波長変換素子 22 f との間隙の上方にディテクタ 28 を設置して、素子 22 f の入射面 10 から出てくる高調波を検出する構成とすることもできる。

【0153】本実施形態によれば、温度 0 ~ 60 °C の範囲において、高調波出力の変動を ± 3 % 以内に抑えることができる。また、基本波から高調波への変換効率率は、300 mW の入力に対して 0.5 % であり、出力 1.5 mW のブルー光が得られる。また、本実施形態の短波長レーザ光源 700 に含まれるようなバルク型の光波長変換素子 22 f は、光路のアライメントが簡単に行えとともに機械的振動にも強く、実用的である。

【0154】次に、図 15 の短波長レーザ光源 700 の構成において、DBR 半導体レーザ 21 f を RF 駆動する。具体的には、周波数 800 MHz のサイン波電流を電極 40 a に印加する。これによって、基本波 P1 の平均パワー 1.00 mW に対して、パワー 2 mW の高調波 P2 の出力が得られる。

【0155】光波長変換素子の変換効率は基本波のパワーに比例するので、上記のように半導体レーザ 21 f に RF 駆動を行って基本波 P1 をパルス列として光波長変換素子 22 f に入力することにより、その変換効率を向上することができる。DBR 半導体レーザ 21 f は、RF 駆動においても縦モードが乱れることがなく、有効に波長変換できる。

【0156】なお、半導体レーザの RF 駆動は、本実施形態のようにバルク型の光波長変換素子 22 f を用いる場合に限らず、光導波路型の光波長変換素子を含む短波長レーザ光源の構成に対しても適用できる。一方、第 4 の実施形態として説明した粗調整及び微調整制御の手法、あるいは、第 5 の実施形態として説明した差動検出の手法を、本実施形態におけるバルク型の光波長変換素子 22 f を含む短波長レーザ光源 700 の構成に適用することも可能である。

（第 8 の実施形態）次に、本発明の第 8 の実施形態の短波長レーザ光源を説明する。図 16 は、本実施例の短波

長レーザ光源800の構成を示す断面図である。

【0157】図16に示す短波長レーザ光源800でもベルチェ素子48を用いて短波長レーザ光源800の温度制御を行うが、その配置は、図15に示した第7の実施形態の短波長レーザ光源700とは異なっている。すなわち、DBR半導体レーザ21gと基材20を挟んで対向する位置に銅ブロック59aが配置されており、同様に、光波長変換素子22gと基材20を挟んで対向する位置に銅ブロック59bが配置されている。基材20は、典型的には真鍮でできていて、厚さは例えば0.5mmである。このため、DBR半導体レーザ21gから光波長変換素子22gへは、熱が伝達しにくい。

【0158】ベルチェ素子48の第1の面48aは銅ブロック59aに接触し、第2の面48bは銅ブロック59bに接触している。ベルチェ素子48に電流を印加すると、第1の面48a及び第2の面48bは、お互いに逆の温度特性を示す。例えば、第1の面48aが発熱して加熱作用を示す場合には、第2の面48bは吸熱して冷却作用を示す。これによって、ベルチェ素子48の第1の面48aに銅ブロック59aを介して接している半導体レーザ21gの温度、及び第2の面48bに銅ブロック59bを介して接している光波長変換素子22gの温度を、ベルチェ素子48への印加電流の制御を通じて制御することができる。

【0159】例えば、銅ブロック59aの温度を、室温30℃を挟んで約5℃から約55℃まで変化させると、銅ブロック59bの温度は、約10℃から約50℃まで変化する。この結果、半導体レーザ21gの発振波長を例えば2.6nmの範囲で変化させることができ、一方、光波長変換素子22gの位相整合波長は例えば2.0nmの範囲で変化させることができる。したがって、合計では4.6nmの範囲で波長を制御することができる。図15に示す短波長レーザ光源700の構成では、全体の構成を基材20を介してベルチェ素子48の同一の面の上に配置しているが、この場合には波長の可変範囲は約0.6nmである。したがって、本実施形態の構成にすることによって、約8倍の広い範囲にわたって波長を制御することが可能になる。

【0160】また、DBR半導体レーザ21gの発振波長、及び光波長変換素子22gの位相整合波長のいずれもが、温度に対して連続的に変化する。そのため、安定且つ滑らかな波長のチューニングを行うことができる。（第9の実施形態）次に、本発明の第9の実施形態の短波長レーザ光源を説明する。図17は、本実施形態の短波長レーザ光源に含まれる半導体レーザの構成を示す断面図である。

【0161】この短波長レーザ光源では、非線形光学結晶であるKNbO<sub>3</sub>基板に周期状の分極反転領域が形成されている光波長変換素子を用いる。KNbO<sub>3</sub>は、800nm帯の発振波長を有する半導体レーザの波長に対

して位相整合する材料である。なお、周期状の分極反転領域の形成は、例えばイオン注入法によって行うことができるが、他の方法を適用してもよい。

【0162】また、本実施形態の短波長レーザ光源では、波長可変部を有するDBR半導体レーザ21hを用いている。DBR半導体レーザ21hはA1でできた基材20の上に固定されていて、半導体レーザ21hから出射された基本波P1は、コリメータレンズで平行光にされた後、半波長板を介してフォーカスレンズで集光され、光波長変換素子（図17には不図示）の光導波路に入射面から入射する。半波長板は、基本波P1の偏光方向を90度回転させ、光導波路の偏光方向に一致させるために挿入されている。

【0163】光導波路に入った基本波P1は、位相整合長Lの長さを持った分極反転領域で高調波に変換される。さらに、その後に続く同じくLの長さを持った非分極反転領域で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光導波路の内部で増幅された高調波は、出射面より放射される。

【0164】本実施形態では、後述するように、制御を簡略化するために単独の電流印加により高調波の安定化を実現している。

【0165】次に、DBR半導体レーザ21hについて説明する。

【0166】DBR半導体レーザ21hは、発光部42、DBR部40、及びアンプ部47に分かれている。各部分42、40及び47は、それぞれ電極42a、40a、及び47aにより独立に制御できる。発光部42に電極42aを介して電流を注入することで、活性層44が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、半導体レーザ21hの後面のへき開面46とDBR部40に設けられている回折格子43とが起こす反射によって共振が生じ、レーザ発振する。

【0167】半導体レーザ21hのDBR部40への注入電流を変化させることで、屈折率が変化するので、フィードバックされる波長が変わる。これを利用すれば、DBR部40を波長可変部として動作させることができ、これにより、レーザの発振波長を変えることができる。

【0168】発光部42で発生した光は、アンプ部47で増幅されて出射される。このとき、半導体レーザ21hの前面のへき開面45に無反射コーティングを施すことによって、へき開面45における反射を0.01%と極めて小さくすることができる。これによって、複合モードが立たなくなる。

【0169】一方、本実施形態では、半導体レーザ21hの後面のへき開面46とDBR部40の実効反射面との間の距離である実効共振器長（キャビティ長）Dは150μmに設定されており、縦モードの間隔は0.7nmになっている。そのために、0.7nmの範囲内で



は、電極40aへの印加電流の制御のみで、モードホップなしに連続的に波長を制御できる。また、DBR部40は、1nmと十分な反射波長幅を有している。

【0170】図18に、キャビティ長Dと縦モードの間隔との関係を示す。図18に示されているように、キャビティ長Dと縦モードの間隔とは反比例する。縦モード間隔以内であれば、モードホップなしに波長を変更して調整することができ、さらにキャビティ長Dを小さくして縦モード間隔を広げれば、その調整可能な範囲を広げることができる。

【0171】温度範囲20℃にわたる光波長変換素子の位相整合波長の変動を補償するためには、一般には0.5nmの範囲にわたって波長を変更することが望ましく、そのためには図18のグラフから、キャビティ長Dは200μm以下に設定することが望ましい。さらに、キャビティ長Dを100μm以下に設定すれば、温度範囲40℃に対応する波長の調整を行うことが可能になり、さらに好ましい。

【0172】なお、一般に、キャビティ長Dが短くなると、発振されるレーザ光のパワーが小さくなる。これに対して本実施形態の半導体レーザ21hでは、アンブ部47を設けることによって、弱い発振レーザ光を増幅している。

【0173】次に、高調波出力安定化方法について説明する。

【0174】環境温度が変化すると、光波長変換素子の位相整合波長が変わる。これに対して、これまでの実施形態においてと同様に、DBR半導体レーザ21hの発振波長を変えることで、光波長変換素子の変化後の位相整合波長にレーザ21hの発振波長を合わせることができ

る。【0175】すなわち、光波長変換素子からの高調波出力をビームスプリッタで分岐し、その一部をSiディテクタでモニタする。このような構成において、ディテクタにおける検出結果を用いて、高調波出力が常に最高値となるように電極40aに印加する電流値を調整することにより、高調波の出力が安定して所期の値に保たれる。

【0176】例えば、電極40aへの印加電流を40mAだけ変化させると、発振波長は例えば約0.6nm変化する。このようにして、広い範囲で半導体レーザの発振波長を変化させて、光波長変換素子の擬似位相整合波長の変化に追従することができる。

【0177】また、具体的には、温度が15～45℃の範囲で変化する際に、高調波出力の変動は±3%以内である。また、本実施形態では、基本波から高調波への変換効率は、入力パワー40mWに対して5%である。

【0178】図19には、本実施形態の短波長レーザ光源の変形例として、DBR部40の上に電極40aを形成していない構成を有するDBR半導体レーザ21jの

断面図を示す。この構成では、発光部42の上に設けられた電極42aに電流を印加してレーザ発振を生じさせるとともに、電極42aへの印加電流の量を変化させることによって、その発振波長を調整する。つまり、発光部42が、電極42aへの電流印加にともなう発光機能に加えて、印加電流量の調整にともなう発振波長の調整という位相制御機能を兼ね備えている。なお、発振されるレーザ光の出力レベルは、アンブ部47の上に設けられた電極47aへの印加電流量の調整によって調整される。

【0179】なお、図17あるいは図19に示す本実施形態の半導体レーザの構成において、DBR部40とへき開面との間に凹部を設けて反射体を作り、短共振器を形成することもできる。このような構成とすることによって、極めて短いキャビティ長Dを有する共振器が実現される。

(第10の実施形態) 次に、本発明の第10の実施形態の短波長レーザ光源を説明する。図20は、本実施例の短波長レーザ光源1000の構成を示す断面図である。

【0180】この短波長レーザ光源1000では、非線形光学結晶であるLiTaO<sub>3</sub>基板22の表面に周期状の分極反転領域(不図示)が形成されている光波長変換素子22kを用いる。さらに、光波長変換素子22kの周期状の分極反転領域3が形成されている表面には、プロトン交換を用いて光導波路2が形成されている。

【0181】短波長レーザ光源1000は、波長可変部を有するDBR半導体レーザ21kを用いている。本実施形態では、光波長変換素子22kの出射面12に反射体58を形成し、そこからの外部反射光を活性層44にフィードバックして発振波長の制御を行っている。これによって、縦モード間隔を極めて小さくすることができる。

【0182】DBR半導体レーザ21kは基材(不図示)の上に固定されていて、半導体レーザ21kから出射された基本波P1は、レンズ25aで平行光にされた後、光波長変換素子22kに入射面10から入射する。

【0183】光波長変換素子22kに入った基本波P1は、位相整合長Lの長さを持った分極反転領域で高調波P2に変換される。さらに、その後続く同じくLの長さを持った非分極反転領域で、高調波のパワーが増幅される。このようにして、光導波路2の内部で増幅された高調波P2は、出射面12より放射される。

【0184】次に、DBR半導体レーザ21kについて説明する。

【0185】DBR半導体レーザ21kは、発光部42及びDBR部40に分かれている。各部分42及び40は、それぞれ電極42a及び40aにより独立に制御できる。発光部42に電極42aを介して電流を注入することで、活性層44が発光する。注入電流が発振しきい値を越えると、光波長変換素子22kに設けられている



反射体58とDBR部40に設けられている回折格子43とが起す反射によって共振が生じ、レーザ発振する。

【0186】半導体レーザ21kの前面のへき開面45には、無反射コーティングが施されている。また、反射体58は、800nm帯の波長を有する基本波の光は約98%反射するが、400nm帯の波長を有する高調波の光は95%透過する。

【0187】半導体レーザ21kのDBR部40への注入電流を変化させることで、屈折率が変化するので、フィードバックされる波長が変わる。これを利用すれば、DBR部40を波長可変部として動作させることができ、これにより、レーザの発振波長を変えることができる。

【0188】このとき、本実施形態の構成では、反射体58とDBR部40の実効反射面との間の距離であるキャビティ長Dは11mmに設定されており、縦モードの間隔は0.01nmになっている。このように縦モードの間隔を狭くすることによって、見かけ上は連続的に波長を変更させることができる。また、光波長変換素子22kの許容波長半値幅は、0.2nmである。

【0189】本実施形態における光波長変換素子22kは、60℃の温度範囲にわたって低ノイズで安定した高調波出力を供給する。なお、上記の説明では、反射体58を光波長変換素子22kの出力側に設けている。これによって、基本波が光波長変換素子22kの内部を伝搬した後に反射体58で反射されるので、基本波から高調波への変換に際して有効にパワーを使用できる。しかし、反射体58は、光波長変換素子22kの入射側に設けることもできる。

【0190】上記で説明した本実施形態のように、光波長変換素子22kの許容波長半値幅が半導体レーザ21kの縦モード間隔より広ければ、高調波は常に出力される。この点を、図21を参照して説明する。

【0191】図21は、半導体レーザの縦モードと光波長変換素子の高調波強度との関係を模式的に示す図であり、一例として、許容波長半値幅以内に2本の縦モードA及びBが存在している場合を示している。この2本の縦モードA及びBのどちらを選んでも光波長変換素子の出力強度は1以上となるが、半導体レーザの出力を制御することそのレベルを下げることができ、光波長変換素子からの実際の出力は一定に保たれる。

【0192】このように、光波長変換素子の許容波長半値幅を半導体レーザの縦モード間隔より広くするには、一般に、半導体レーザのキャビティ長Dを長くする方法が有効である。あるいは、それ以外の方法として、光波長変換素子の分極反転領域の周期を部分的に変化させる方法も有効である。後者では、光導波路の長さ方向に対して分極反転領域の周期を徐々に或いは分割して変化させることで、任意の許容幅を持つ光波長変換素子が実現

できる。

【0193】上記の説明に含まれていた半導体レーザでは、その発光部を光波長変換素子に近い側に、DBR部を光波長変換素子から遠い側に、それぞれ配置することが好ましい。これは、そのような配置によって、光波長変換素子に入射するレーザ光の損失を少なくすることができるためである。

【0194】レーザ光は発光部でゲインを得るので、発光部を半導体レーザの出射側の端面に近い側に、すなわち光波長変換素子に近い側に配置すれば、出力されるパワーを最大限に活用することができる。また、発光部からDBR部へ向けて出射されたレーザ光は、DBR部の回折格子ではほとんど回折される。このとき、回折格子のピッチを適切に設定することによって、回折効率を自由に設定できる。回折効率は、例えば90%程度に設定する。

【0195】一方、DBR部を光波長変換素子に近い側に、発光部を光波長変換素子から遠い側に、それぞれ配置すると、発光部から発せられたレーザ光は、光波長変換素子に入射する前に、その大部分、典型的には約90%が回折されて発光部に戻る結果となる。したがって、DBR部の側の端面から光波長変換素子へ向けては、レーザ光がほとんど出射しなくなる。

【0196】また、半導体レーザ及び光波長変換素子を光波長変換素子を金属製の基材の上にマウントする際には、以下の理由により、半導体レーザの活性層及び光波長変換素子の光導波路が金属製の基材から遠い側に存在するような配置にすることが好ましい。

【0197】すなわち、半導体レーザには複数の電極を設ける必要があるので、電極に接続する配線をワイヤボンディングなどで形成する工程を容易にするためには、電極が半導体レーザの上面に配置されるようにすることが好ましい。

【0198】一方、光波長変換素子を、その光導波路が金属製の基材に直接的に接触する様な位置に配置すると、屈折率の大きい金属製の基材へむけて、光損失が発生する。そのような光損失を防ぐためには、基材と光波長変換素子（光導波路）との間にSiO<sub>2</sub>膜などによる保護膜を形成する必要があるが生じる。しかし、光導波路が上側に存在するような配置にすることによって、そのような保護膜の形成を省略することができる。

【0199】なお、以上の説明では、非線形光学結晶としてLiTaO<sub>3</sub>またはLiNbO<sub>3</sub>を用いているが、それ以外にも、KTP(KTiOPO<sub>4</sub>)、KNbO<sub>3</sub>、またはMgO、Nb、NdなどをドーブしたLiTaO<sub>3</sub>、やLiNbO<sub>3</sub>、あるいは、LiTaO<sub>3</sub>とLiNbO<sub>3</sub>との混晶であるLiNb<sub>1-x</sub>Ta<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (0 ≤ X ≤ 1) などの強誘電体を使用することができる。あるいは、MNAやDAN等の有機非線形光学結晶などを使用することもできる。

【0200】また、高調波出力のピークがいくつかある場合、所定の出力が必要な場合等であっても、本発明が適用できることは言うまでもない。

【0201】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の高調波出力安定化方法によれば、半導体レーザの電流を変えてレーザの発振波長を制御し、光波長変換素子の擬似位相整合波長にレーザ発振波長を合わせることによって、簡単に高調波出力の安定化を行うことができる。

【0202】また、本発明の短波長レーザ光源によれば、半導体レーザの印加電流を制御することにより、光波長変換素子の擬似位相整合波長に半導体レーザの発振波長を合わせて、簡単且つ安定に高調波を発生することができる。

【0203】さらに、本発明の短波長レーザ光源によれば、半導体レーザの波長変動を防止し、低ノイズな高調波出射を実現できる。特に、分布ブラッグ反射型(DBR)半導体レーザを用いると、波長を広い範囲にわたって安定に調整して安定化することができる。

【0204】また、半導体レーザに波長可変部を設けることによって、波長安定化動作の高速化を図ることができる。

【0205】また、本発明の光波長変換素子によれば、高調波を光導波路から取り出して、非点収差のないスポットを安定に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態における半導体レーザの印加電流と発振波長との関係を示すグラフである。

【図3】環境温度と高調波出力と関係を示すグラフである。

【図4】本発明の第2の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図5】(a)～(d)は、図4の短波長レーザ光源に含まれる光波長変換素子の製造工程を示す断面図である。

【図6】本発明の第3の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図7】半導体レーザの駆動電流と出射される基本波のパワーとの関係を示すグラフである。

【図8】本発明の第4の実施形態における高調波出力の安定化法を示すフローチャートである。

【図9】本発明の第4の実施形態における半導体レーザのDBR部の駆動電流と発振波長との関係を示すグラフである。

【図10】本発明の第4の実施形態において、微調整制御にベルチェ素子を利用した場合における高調波出力の安定化法を示すフローチャートである。

【図11】本発明の第5の実施形態における短波長レー

ザ光源に含まれる光波長変換素子の構成を示す断面図である。

【図12】図11の光波長変換素子における入力される基本波の波長と発生する高調波出力との関係を示すグラフである。

【図13】(a)は、本発明の第5の実施形態の短波長レーザ光源において、半導体レーザの発振波長を変化させたときのディテクタの出力電気信号を示すグラフであり、(b)は、そのときの差動出力を示すグラフである。

【図14】本発明の第6の実施形態における短波長レーザ光源に含まれる光波長変換素子の構成を示す断面図である。

【図15】本発明の第7の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図16】本発明の第8の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図17】本発明の第9の実施形態における短波長レーザ光源に含まれる半導体レーザの構成を示す断面図である。

【図18】実効共振器長(キャビティ長)と縦モード間隔との関係を示すグラフである。

【図19】本発明の第9の実施形態における短波長レーザ光源に含まれる半導体レーザの他の構成を示す断面図である。

【図20】本発明の第10の実施形態における短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図21】縦モード間隔と高調波の許容波長幅との関係を示すグラフである。

【図22】従来の短波長レーザ光源の構成を示す断面図である。

【図23】(a)は、従来の光波長変換素子の構成を示す斜視図であり、(b)は、(a)の線23B-23Bにおける断面図である。

【図24】(a)及び(b)は、光波長変換素子による波長変換の原理を説明する図である。

【符号の説明】

- 1、101 LiTaO<sub>3</sub>基板
- 1a MgOドープLiNbO<sub>3</sub>基板
- 2、2a、2b、102 光導波路
- 3、3a、3b、103 分極反転領域
- 4、104 非分極反転領域
- 6a Ta膜
- 10 入射面
- 12 出射面
- 14 SiO<sub>2</sub>層
- 15 薄膜ヒータ
- 17a、17b 回折格子
- 20、120 基材
- 20a Siサブマウント

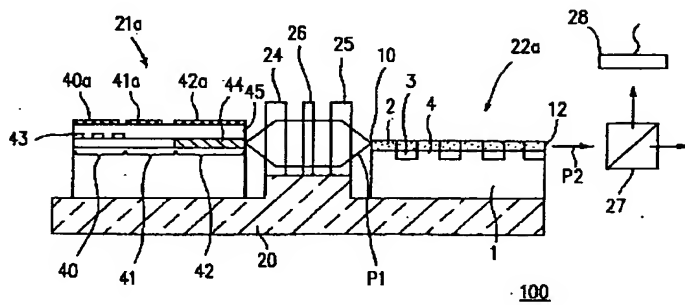
31

21a、21b、21f、21g、21h、21j、2  
 1k 分布ブラッグ反射型(DBR)半導体レーザ  
 21c ファブリーペロー型半導体レーザ  
 22a、22b、22c、22d、22e、22f、2  
 2g、22k、122 光波長変換素子  
 24、124 コリメータレンズ  
 25、125 フォーカスレンズ  
 26 半波長板  
 27 ビームスプリッタ  
 28、28a、28b ディテクタ  
 40 DBR部  
 41 位相制御部  
 42 発光部

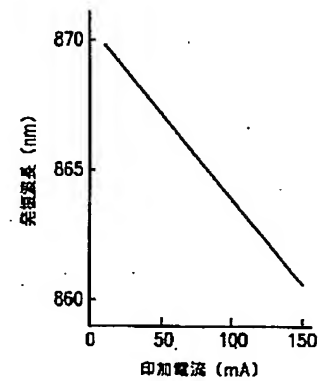
32

\* 40a、41a、42a、47a 電極  
 43 回折格子  
 44 活性層  
 45、46 へき開面  
 47 アンプ部  
 48 ベルチエ素子  
 58 反射体  
 59a、59b 銅ブロック  
 100、200、300、700、800、1000、  
 10 5000 短波長レーザ光源  
 121 半導体レーザ  
 P1、P1a 基本波  
 \* P2、P2a、P2b 高調波

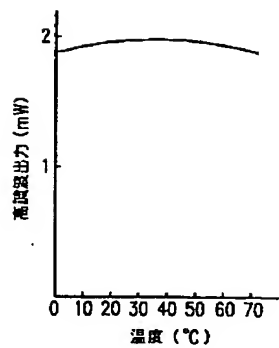
【図1】



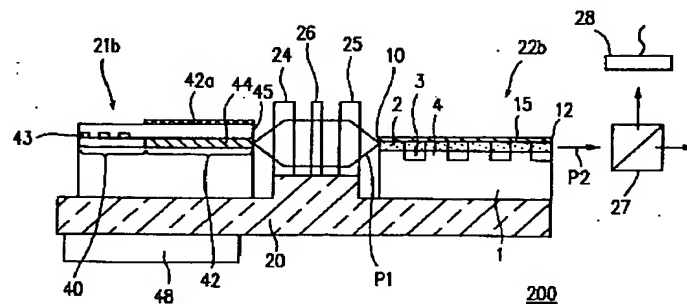
【図2】



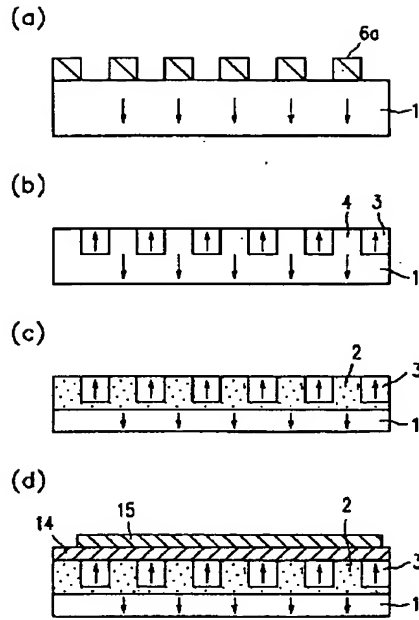
【図3】



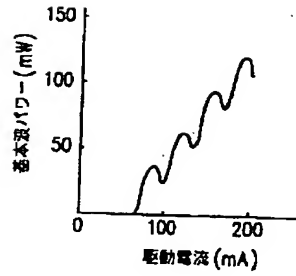
【図4】



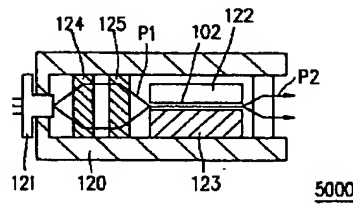
【図5】



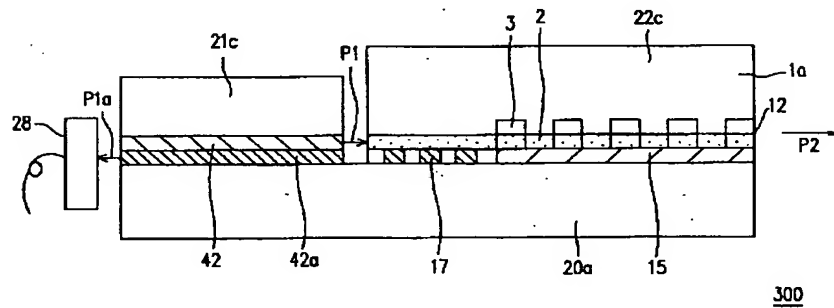
【図7】



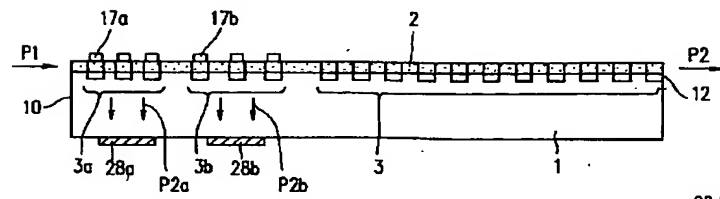
【図22】



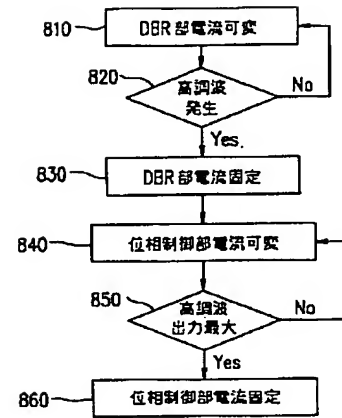
【図6】



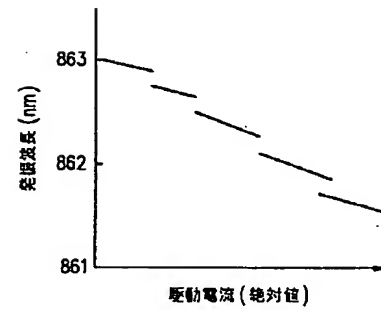
【図11】



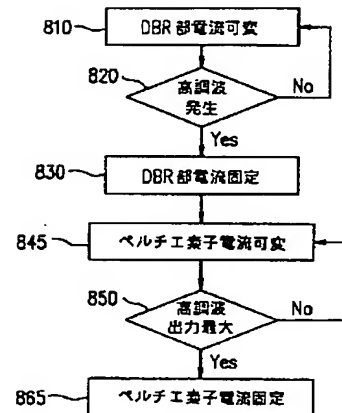
【図8】



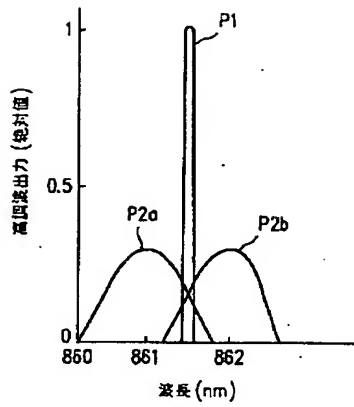
【図9】



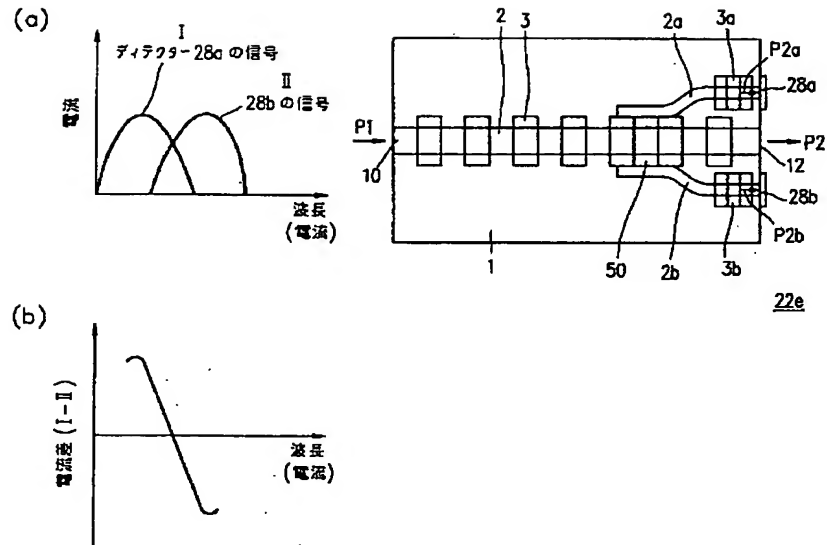
【図10】



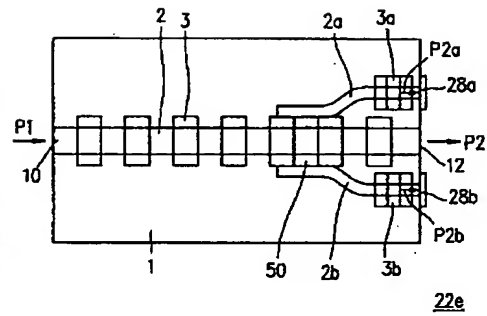
【図12】



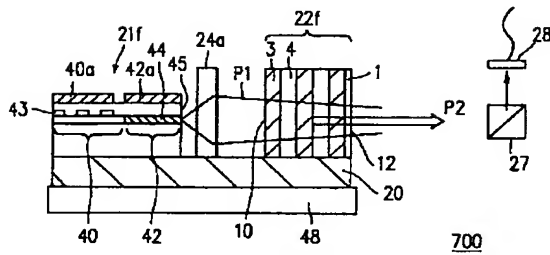
【図13】



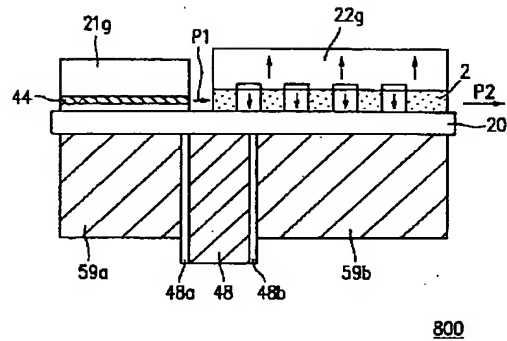
【図14】



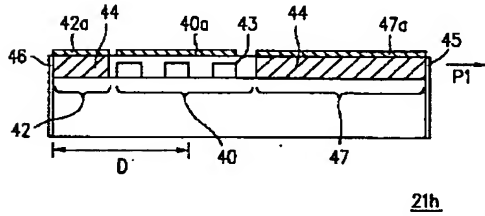
【図15】



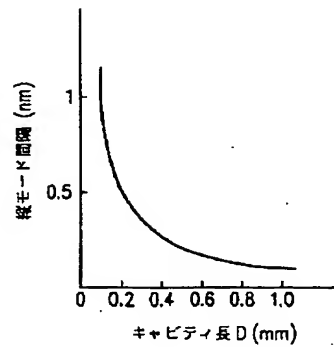
【図16】



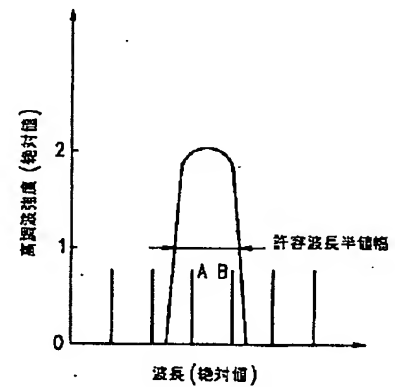
【図17】



【図18】



【図21】





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**